

VALUTAZIONE ENERGETICA ED ECONOMICA DI SOLUZIONI PROGETTUALI ENERGETICAMENTE CONSAPEVOLI APPLICATE AD EDIFICI A CARATTERE RESIDENZIALE

Carletti Cristina, Sciarpi Fabio, Vettori Valentina
Dipartimento di Tecnologie dell'Architettura e Design "P. Spadolini", Via S. Niccolò 93, Firenze

SOMMARIO

Sulla scia del crescente interesse internazionale per i temi energetici e di qualità ambientale, numerose sono le linee guida per attuare la certificazione energetica degli edifici e le raccomandazioni ed azioni legislative atte a stabilire target energetici sia per le nuove costruzioni che per le riqualificazioni edilizie. Fra le prime si ricordano, ad esempio, il D. Lgs. 192/2005 in attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia, fra le seconde le Linee Guida della Regione Toscana in materia di qualità ambientale emanate nel 2005. Scopo della presente Ricerca è quello di analizzare criticamente all'interno del contesto Toscano differenti target energetici raggiunti con comuni tecnologie costruttive, in accordo con la filosofia della Direttiva 2002/91/CE, e gli investimenti necessari per raggiungerli.

La memoria in particolare riporta i risultati di una ricerca condotta su una tipologia edilizia residenziale sinora molto in uso nel contesto toscano, per la quale sono posti a raffronto i diversi effetti di interventi di miglioramento energetico dell'involucro necessari al fine di operare una valutazione globale che tenga in conto anche delle prestazioni di sistemi di controllo microclimatico, nel rispetto del D. Lgs. 192/2005. Infine viene riportato un confronto parametrico dei risultati ottenuti al fine di evidenziare il rapporto fra extra costi di costruzione e target energetico raggiunto.

INTRODUZIONE

In Italia dal 1995 ad oggi il consumo interno lordo di energia è andato sempre aumentando. In particolare, il consumo di prodotti petroliferi è negli anni diminuito a favore del gas naturale, mentre i consumi di carbone sono aumentati soprattutto nei mesi estivi, per l'aumento della produzione termoelettrica per rispondere alla richiesta di energia per il raffrescamento estivo (si ricorda a titolo di esempio la punta di 53,1 GW del luglio 2003) per l'utilizzo di condizionatori del tipo split. Unico conforto è l'aumento di oltre il 20% rispetto al 1995 dell'energia primaria prodotta da fonti rinnovabili. Negli anni, la dipendenza energetica dell'Italia è andata sempre più crescendo, passando dall'81% nel 1995 all'84,3% nel 2002, e riguarda sia il petrolio che il gas naturale ed i combustibili solidi.

Analizzando i consumi energetici del settore civile (residenziale e terziario) risulta che il settore residenziale assorbe circa il 70% della domanda mentre il terziario il restante 30%. In particolare, negli edifici residenziali italiani la maggior parte dell'energia viene consumata per il riscaldamento (67,9%); tale elevata incidenza rispetto ai consumi totali è da attribuire principalmente alla scarsa qualità degli involucri degli edifici: circa il 30% delle nostre abitazioni è stato infatti costruito prima della legge 373/1976, la prima legge sul risparmio energetico in edilizia in Italia, ed una percentuale analoga non subisce interventi di manutenzione straordinaria da almeno vent'anni.

Da tali analisi emerge l'importanza dell'involucro edilizio nella limitazione delle dispersioni termiche e quindi nella riduzione del fabbisogno per riscaldamento e dei consumi energetici; a ciò dovrà necessariamente aggiungersi, soprattutto alle nostre latitudini, il controllo della radiazione solare in regime estivo riducendo il surriscaldamento

dell'edificio ed i consumi per il raffrescamento estivo dello stesso.

IL RUOLO DELL'INVOLUCRO EDILIZIO

L'involucro edilizio nel tempo ha subito una lenta evoluzione, passando da semplice chiusura con funzioni di protezione ad elemento tecnologico di mediazione tra l'ambiente esterno e quello interno, partecipando così attivamente a garantire adeguate condizioni di comfort termoigrometrico, di qualità dell'aria interna e di risparmio energetico.

Nell'ultimo decennio si è quindi assistito ad una rapida evoluzione delle tecnologie costruttive dell'involucro edilizio, che ha determinato la nascita di nuovi modelli costruttivi di edifici definiti da elevati livelli prestazionali sia dal punto di vista energetico che della sostenibilità ambientale. In tali edifici le prestazioni energetiche dei componenti l'involucro raggiungono livelli così elevati da garantire un minore impatto sull'ambiente (minimizzando le emissioni di inquinanti e lo sfruttamento delle risorse non rinnovabili e riducendo i consumi energetici) ed un miglioramento della qualità ambientale interna globale (comfort termoigrometrico, acustico, visivo e respiratorio olfattivo). In tutti tali modelli di edifici ad alta efficienza energetica, partendo dall'analisi del sito, l'involucro si riappropria delle funzioni di controllo dei flussi di energia e massa e l'impianto torna ad essere elemento di supporto e di implementazione delle prestazioni globali, con il fine comune di creare le migliori condizioni di comfort ambientale per gli utenti sia in estate che in inverno con il minore consumo energetico ed il minore impatto ambientale

possibile.

Nella direzione della rivalutazione delle prestazioni termofisiche dell'involucro edilizio si è mosso anche il D.Lgs. 192/2005, indicando in particolare per nuovi edifici differenti approcci alla progettazione energeticamente sostenibile in funzione delle zone climatiche per il sistema integrato edificio-impianto: da un lato con valori limite delle trasmittanze dei componenti opachi e trasparenti dell'involucro e del rendimento globale medio stagionale dell'impianto, e dall'altro con una verifica globale dell'efficienza a mezzo dell'indice FEP.

METODOLOGIA DI INDAGINE

La memoria riporta parte dei risultati di una ricerca condotta all'interno del contesto Toscano finalizzata all'indagine di differenti tipologie edilizie per quanto riguarda il target energetico, in accordo con la filosofia del D. Lgs. 192/2005, il comfort interno, le ricadute sull'ambiente e gli investimenti necessari espressi, oltre che in forma assoluta, anche in termini di tempi di ritorno. L'analisi si è incentrata sullo studio di una serie di edifici residenziali considerati "standard" per i quali si sono confrontati i diversi effetti di alcuni interventi di miglioramento energetico dell'involucro per giungere ad una valutazione globale che tenga in conto anche le prestazioni dei sistemi di controllo microclimatico, nel pieno rispetto delle indicazioni del D. Lgs. 192/2005.

Viene quindi operato un confronto parametrico dei risultati ottenuti al fine di evidenziare, mediante l'uso di un numero limitato di indicatori energetici, il rapporto fra target energetico raggiunto, extra costi di costruzione, e conseguenti risparmi di gestione e quantità di CO₂ non immessa in ambiente.

Nel lavoro sono in corso di analisi tre tipologie edilizie considerate più significative nel mercato Toscano: edificio in linea, villetta bifamiliare o schiera, villetta monofamiliare. In particolare nel presente lavoro sono riportati i risultati preliminari riferiti alla tipologia in linea.

Per ogni tipologia edilizia indagata è stata valutata la prestazione energetica dell'edificio facendo riferimento, oltre che al FEP (kWh/m² anno) ed alla trasmittanza dei componenti dell'involucro (W/m²K), alla classificazione secondo Indici Energetici (kWh/m² anno) proposta dallo standard CasaClima ormai ben nota agli operatori del settore, e ripresa anche da altre realtà italiane.

I risultati emersi dall'indagine renderanno maggiormente trasparenti gli investimenti sulla qualità energetica dell'edificio non solo alla Committenza ma anche e soprattutto all'Impresa di Costruzioni che, incentivata anche dalle Pubbliche Amministrazioni sarebbe stimolata a mettere sul mercato prodotti di qualità energetica ed ambientale sempre maggiore e sempre maggiormente competitivi.

In generale, le strategie di intervento prese in esame si possono riassumere come segue:

- interventi finalizzati al controllo dei ponti termici nell'edificio tradizionale;
- aumento delle prestazioni termiche della muratura di tamponamento e dei solai, mediante aumento dello spessore dell'isolante termico;
- sostituzione componenti finestrati con altri di prestazioni migliori.

Le strategie ipotizzate sono state verificate sia dal punto

di vista economico utilizzando prodotti disponibili sul mercato e tecniche costruttive collaudate, sia dal punto di vista della fattibilità di cantiere in stretta collaborazione con una Impresa di Costruzioni capillarmente presente sul mercato che collabora alla presente ricerca.

Dalla combinazione delle differenti strategie su ognuna delle tipologie edilizie indagate sono scaturiti confronti parametrici che evidenziano la maggiore o minore praticabilità della soluzione scelta. Per ogni classe energetica raggiunta dalla combinazione di differenti strategie di implementazione energetica vengono riportati i seguenti Indici:

- fabbisogno di energia per riscaldamento (Q_h in kWh/m²anno);
- fabbisogno di energia primaria per riscaldamento (FEP in kWh/m²anno);
- extracosti di costruzione in percentuale;
- riduzione annuale di consumo di combustibile e conseguente riduzione di emissione di CO₂;
- tempi di ritorno dell'investimento applicati alla soluzione scelta rispetto al caso standard.

IL CASO STUDIO

La metodologia sopra riportata è stata validata mediante una simulazione energetica condotta su un edificio residenziale in linea collocato a Firenze; i risultati ottenuti modificando le prestazioni di alcuni elementi della struttura di tamponamento opaco sono stati confrontati con le indicazioni contenute nel D. Lgs. 192/2005 sia per quanto attiene i valori di trasmittanza massimi che l'indice energetico FEP.

L'edificio oggetto di studio è un edificio composto da 3 unità immobiliari per piano per un totale di quattro piani fuori terra per un volume lordo globale pari a 3700 m³ circa, con un rapporto S/V pari a 0,407 (Figura 1).

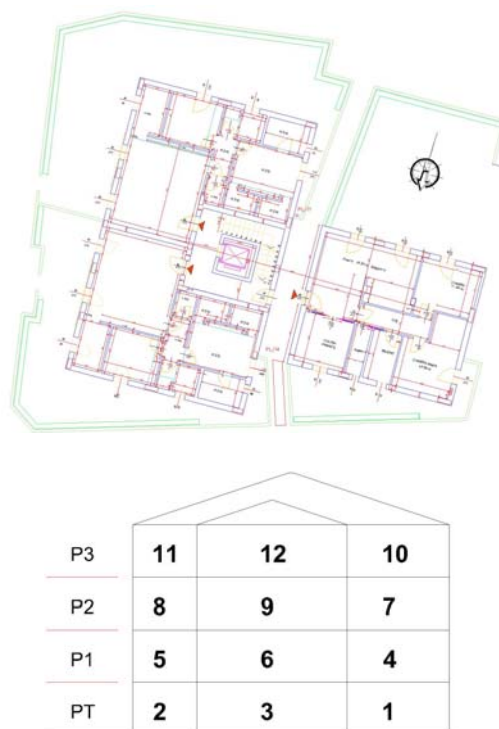


Figura 1 – Pianta del piano tipo e schema dell'edificio in linea analizzato

L'edificio presenta una struttura in c.a. con tamponamento in muratura e solai in laterocemento, infissi in legno con taglio termico e vetrocamera.

Le simulazioni sono state condotte ipotizzando due tecnologie di tamponamento: la muratura a cassetta e l'isolamento a cappotto. I valori di trasmittanza utilizzati nel calcolo sono stati rispettivamente: $0,46 \text{ W/m}^2\text{K}$ per la muratura verticale, $0,44 \text{ W/m}^2\text{K}$ per i solai su cantina e di copertura, $2,45 \text{ W/m}^2\text{K}$ per i componenti finestrati ($2,56 \text{ W/m}^2\text{K}$ per i vetri), in conformità con quanto stabilito nel D.lgs 192/2005 per il 2006 per la zona D cui appartiene la località di riferimento prescelta. Nella Tabella 1 sono riportate le caratteristiche dei principali componenti dell'involucro.

Per quanto attiene l'impianto, è stato ipotizzato di tipo centralizzato a metano con caldaia a condensazione e radiatori a bassa temperatura; in tutti i casi simulati tale tipologia di impianto comporta la verifica del valore limite del rendimento globale medio stagionale.

Alle tipologie di tamponamento sopradescritte sono stati associati differenti valori di ponte termico funzione della tecnologia di controllo adottata. L'incidenza in termini percentuali degli stessi è stata calcolata sulla base della Norma UNI EN ISO 14683/ Aprile 2001 "Ponti termici in edilizia. Coefficiente di trasmissione termica lineica. Metodi semplificati e valori di riferimento", e con l'ausilio del codice di calcolo *KOBRA*® PHYSIBEL2002 per differenti soluzioni progettuali attuabili con metodologie di cantiere considerate collaudate. In particolare, sono state valutate le implicazioni energetiche, tecnologiche ed economiche di alcuni interventi correttivi su differenti tipologie di ponte termico correlate alle tecnologie costruttive prese in considerazione. Le tipologie di ponte termico valutate sono state le seguenti:

- connessione pilastro e solaio con muratura di tamponamento a cassetta con rivestimento del ponte termico mediante tavella da 3 cm successivamente intonacata (a1), sostituzione della tavella con isolante termico a perdere nella cassaforma (a2) ed infine considerando che l'isolante sia prolungato per circa 40 cm oltre il ponte termico (a3);
- connessione solaio del balcone con muratura di tamponamento a cassetta o a cappotto (b1) e considerando la possibilità di interrompere la struttura con un elemento armato tipo "Isokorb®" per tutta la lunghezza del ponte termico (b2);
- connessione componente finestrato con muratura di tamponamento a cassetta o a cappotto (c) e totale risoluzione di tale tipologia di ponte termico.

Nella figura 2 sono riportate alcune delle differenti soluzioni di ponte termico analizzate in cui si evidenzia l'andamento delle isoterme ($\Delta t_{\text{INT-EST}}=20^\circ\text{C}$) e la temperatura al nodo al fine di valutare le implicazioni della soluzione per quanto attiene la possibile formazione di condensa ed il comfort termoigrometrico.

In totale sono state condotte nove simulazioni per muratura con isolamento a cassetta e quattro per l'isolamento a cappotto replicando, per ambedue le tipologie di tamponamento, le scelte costruttive adottate (tabella 2).

Nella soluzione con isolamento a cappotto esterno i ponti termici di connessione con la struttura in c.a. (verticale ed orizzontale) sono stati considerati risolti mentre sono stati valutati gli effetti del ponte termico di connessione con l'infisso ed il balcone.

DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Nella figura 3 sono confrontati i valori di Q_h (fabbisogno di energia per riscaldamento) e dell'indice FEP per le simulazioni condotte.

Dall'analisi dei risultati emerge come anche semplici accorgimenti tecnologici di facile esecuzione in cantiere possano avere effetti molto importanti sulle dispersioni termiche e sul comfort interno riducendo notevolmente il fabbisogno Q_h fino a valori caratteristici di edifici considerati a basso consumo energetico (CasaClima C).

Ciononostante, dal confronto dei risultati ottenuti con i limiti prestazionali di FEP imposti dal Decreto 192/2005 emerge come il rispetto dei valori di trasmittanza previsti per il 2006 non comporti automaticamente la rispondenza al fabbisogno di energia primaria limite.

La simulazione condotta tenendo in considerazione gli effetti della correzione del ponte termico (tipo a: connessione struttura in c.a. con muratura tamponamento) sulla trasmittanza media ponderata dimostra che, pur rientrando nei limiti previsti dal p.to 7 dell'Allegato I del D.Lgs 192 anche per quanto attiene η_G , per la tipologia edilizia a cassetta, non si rispetta il valore limite per il FEP.

La tipologia a cappotto verifica il valore del FEP solo quando vengono controllati anche i ponti termici riferiti alla connessione finestra-muratura che incidono notevolmente nella tipologia edilizia analizzata, essendo i componenti finestrati elemento comune del linguaggio architettonico contemporaneo anche per rispettare i rapporti aeroilluminanti previsti nei Regolamenti Edilizi.

Per quanto attiene il confronto effettuato sugli extracosti di costruzione applicati alle differenti tecnologie investigate si dimostra come tali interventi possano influire in maniera determinante dal punto di vista energetico e possano essere ammortizzati in tempi di ritorno accettabili, specialmente se si possono ipotizzare incentivi delle Pubbliche Amministrazioni in tal senso.

CONCLUSIONI

Dai risultati preliminari di questo studio effettuato su una tipologia in linea con struttura in c.a. ed ampia presenza di balconi e logge, è emerso come sia di fondamentale importanza eseguire valutazioni preliminari sull'efficienza energetica del sistema edificio – impianto fino dalle prime fasi di concezione dell'edificio al fine di raggiungere gli obiettivi energetici imposti dal D.lgs 192/2005. Al fine di garantire un comportamento dell'involucro edilizio energeticamente consapevole risulta indispensabile operare un controllo puntuale sui ponti termici dell'edificio che, in strutture intelaiate in c.a., possono raggiungere percentuali delle dispersioni considerevoli.

L'analisi dei ponti termici condotta dimostra, infatti, come anche accorgimenti tecnologici di facile esecuzione in cantiere possano avere effetti estremamente rilevanti sulle dispersioni termiche e sul comfort interno.

Al fine di operare una valutazione completa della metodologia seguita nella progettazione, infine, sono anche posti a confronto gli extracosti di costruzione applicati alle differenti tecnologie investigate dimostrando come tali interventi possano influire in maniera determinante dal punto di vista energetico e possano essere ammortizzati in tempi di ritorno accettabili, specialmente in un panorama legislativo che darà sempre più spazio all'autonomia comunale in

materia di scorpori di superfici e volumi per edifici a basso consumo energetico (un esempio recente è costituito dal Comune di Greve in Chianti).

Dalle simulazioni condotte appare chiaro che i limiti di FEP imposti dal Decreto siano molto difficili da raggiungere se i nodi critici dell'edificio non sono completamente risolti, cioè il ponte termico non sia "efficacemente" corretto. La valutazione economica delle differenti strategie di controllo dei ponti termici adottate ha messo in evidenza extracosti dell'involucro opaco rispetto alla situazione base (M per la muratura a cassetta e C per quella a cappotto) variabili tra il 10% per le soluzioni più semplici (M1) e l'80% per quelle più evolute (M4); in quest'ultimo caso la tecnologia a cappotto risulta molto concorrenziale in termini di riduzione dei consumi energetici rapportata al conseguente extracosto (C2). Dallo studio economico effettuato sui costi di costruzione globali dell'edificio emerge, inoltre, come gli interventi di controllo dei ponti termici ipotizzati rientrano in una strategia più ampia di controllo delle prestazioni dell'involucro opaco, che incide sul costo di costruzione globale dell'edificio per un valore dell'ordine del 15%.

Per una progettazione orientata alla verifica del fabbisogno di energia primaria piuttosto che al semplice valore di trasmittanze e rendimento dell'edificio, in linea con quanto richiesto dalla Direttiva 91/2002/CE, risulterà oltremodo indispensabile poter prevedere e valutare dalle prime fasi di progettazione dove e come intervenire per implementare le prestazioni energetiche dei componenti del sistema edifici-impianto ed ottimizzare gli extracosti di costruzione.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. ENEA, Rapporto Energia e Ambiente 2004, 2004
2. Carletti C., Raffellini G., Sciarpi F., Dagli edifici a basso consumo energetico agli edifici passivi: problematiche e sviluppi in area mediterranea, atti del 4° Congresso Nazionale CIRIAF Sviluppo sostenibile, tutela dell'ambiente e della salute umana, Perugia, aprile 2004.

3. Carletti C., Sciarpi F. (a cura di), Passivhaus. Evoluzione energetica e comfort ambientale negli edifici italiani, Pitagora Editrice Bologna, Bologna 2005
4. Carletti C., Sciarpi F., Rummel C. (a cura di), Atti Seminario Prestazioni e certificazione energetica degli edifici italiani, Firenze, Dipartimento TaeD, 16 Febbraio 2006
5. Carletti C., Sciarpi F., Raffellini G., Valutazione tecnico economica di un edificio riprogettato secondo lo standard Passivhaus, CDA, n. 1, pp. 45-52, 2006
6. Carletti C., Sciarpi F., Vettori V. Progettazione energeticamente consapevole e comfort globale: strategie di riqualificazione energetica di edifici per il terziario, Atti Congresso Internazionale ExpoComfort, Milano 1 e 2 marzo 2006 (su CD)

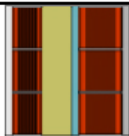
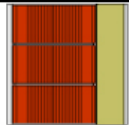


SUMMARY

Following the growing international interest for energy saving and environmental quality, different guidelines for buildings energy labelling and several advices and laws to establish energy targets for new and retrofitted buildings (such as Italian standard 192/2005 in accordance with the Directive 2002/91/CE) have been issued in Italy.

Aim of this research is to define, in the Tuscan context, the different buildings energy targets, according with the Directive 2002/91/CE, and the corresponding investments. In particular, the methodology has been applied to residential buildings designed and built aiming to Italian standards FEP. For a typical buildings a comparison between several energy saving strategies applied to the buildings envelop and HVAC system and the corresponding investments has been done.

A parametric comparison between energy index reached, construction extra costs and environmental impact has been carried out.

Tabella 1 - Caratteristiche dei principali componenti dell'involucro analizzati

Descrizione del componente	Schema grafico	Trasmittanza (W/m ² K)	
		progetto	limite-2006
Muratura di tamponamento a cassetta intonaco interno (2cm), laterizio forato (8cm), isolante termico - polistirene (5cm), camera d'aria (2cm), laterizio forato (12cm), intonaco esterno (2cm); s _{TOT} = 31 cm		0,46	0,50
Muratura di tamponamento a cappotto intonaco interno (2cm), laterizio alleggerito in pasta (30cm), isolante termico - polistirene (4cm), intonaco esterno (2cm); s _{TOT} = 38 cm		0,49	0,50
Solaio latero <u>cementizio</u> pavimento (3cm), sottofondo + massetto (10cm), isolante termico - polistirene (5cm), solaio (35cm), intonaco esterno (2cm); s _{TOT} = 55 cm		0,44	0,46
Componente finestrato telaio in alluminio a taglio termico (60mm), vetro camera (10/11-12-6)		2,45 (2,56 vetro)	3,1 (2,6 vetro)

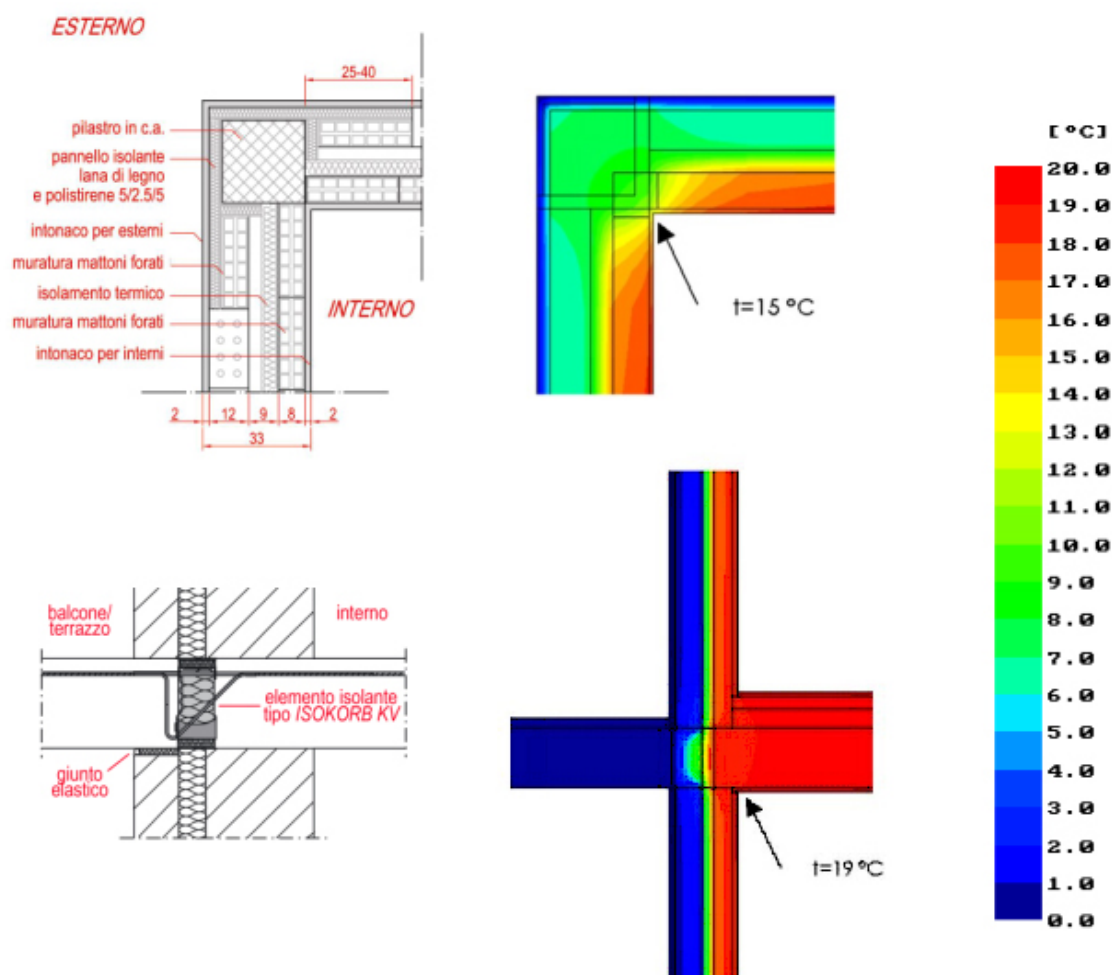


Figura 2 – Alcune delle differenti soluzioni di ponte termico analizzate: (a3) pilastro in c.a. d'angolo con isolante termico da 3 cm che sborda oltre il pilastro di 40 cm; (b2) balcone isolato con Isokorb®. Particolare tecnologico, andamento delle isoterme e temperatura al nodo ($\Delta t=20\text{ °C}$)

Tabella 2 – Abaco delle simulazioni effettuate

Tipologia ponte termico Tipologia muratura	Pilastro c + solaio c.a. tavella	Pilastro c + solaio c.a. isolante	Pilastro c + solaio c.a. isolante 40	Balcone	Balcone + isokorb®	Componente finestrato	Codice simulazione
Muratura a cassetta	a1			b1		c	M
		a2		b1		c	M1
			a3	b1		c	M2
		a2			b2	c	M3
			a3		b2	c	M4
		a2			b2		M5
			a3		b2		M6
		a2		b1			M7
Muratura a cappotto			a3	b1			M8
				b1		c	C
				b1			C1
					b2	c	C2
					b2		C3

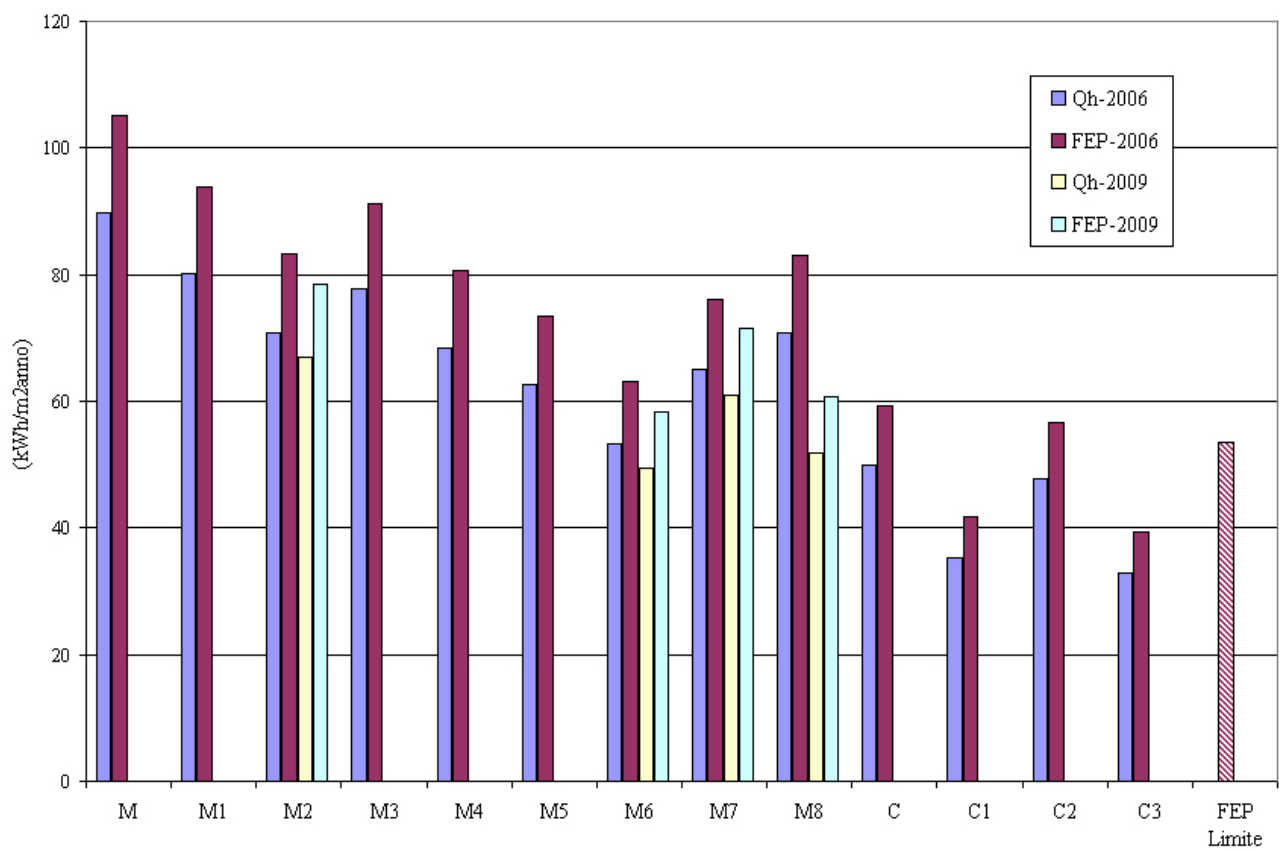


Figura 3 – Confronto dei valori di Q_h e del FEP per le simulazioni condotte

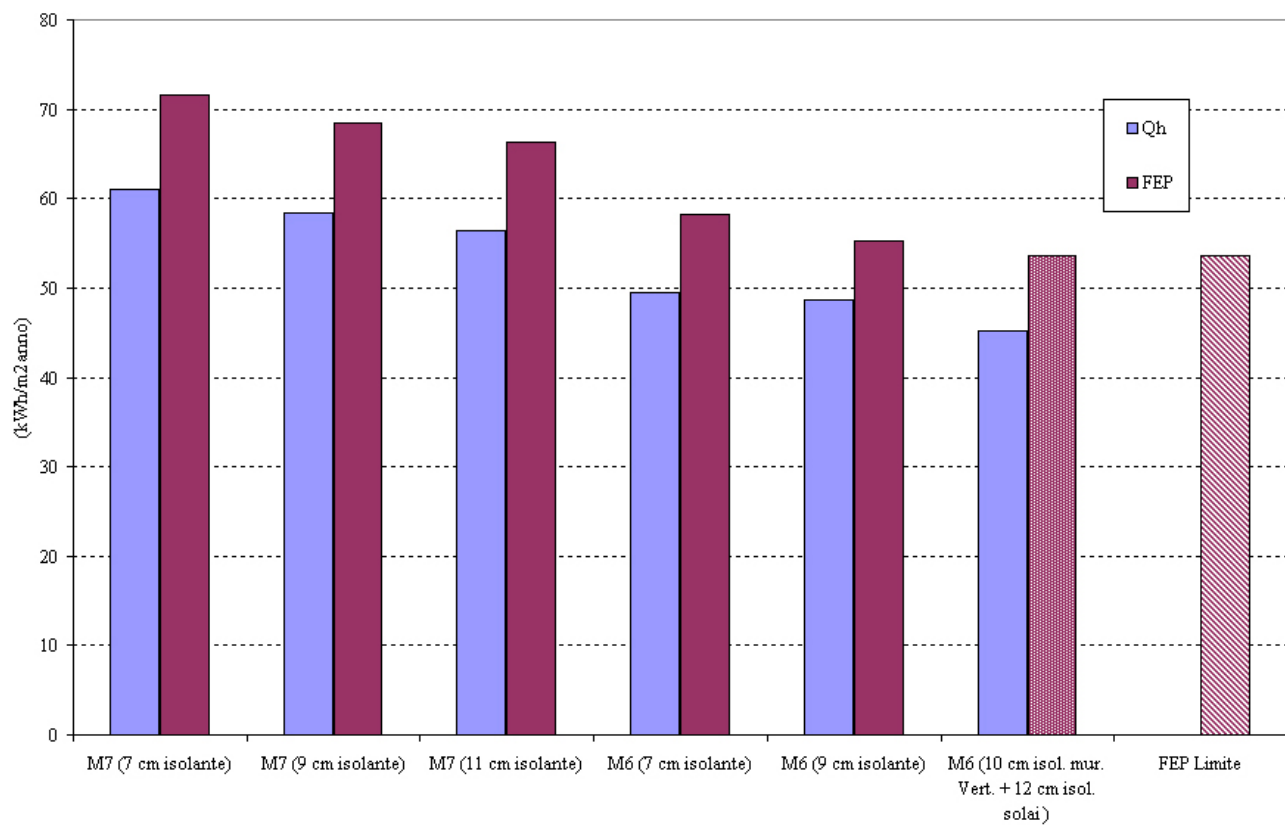


Figura 4 – Confronto dei valori di Q_h e del FEP per le soluzioni M7 e M6 con diversi spessori di isolante termico